

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСАДКИ СООРУЖЕНИЙ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ КУЗБАССА

Ф. П. НИФАНТОВ

(Представлено научной конференцией геологоразведочного факультета)

### Введение

Покровные лёссовидные отложения многих областей нашей страны быстро разрушаются при замачивании их водой и обеспечивают неравномерные осадки поверхности земли и сооружений. Данное специфическое свойство, присущее только макропористым лёссовидным грунтам, названо просадочностью.

Многие сооружения, выстроенные без предварительного выяснения и учета просадочности лёссовидных грунтов, имели в последующем большие быстротекающие неравномерные осадки и деформации.

В Кузбассе первые просадки лёссовидных суглинков были отмечены в 1931—1933 годах, когда некоторые крупные сооружения при подмачивании грунтов довольно быстро и неравномерно оседали, местами на 50—80 см, и, в силу этого, основательно деформировались (Абелев, 1934). Такие осадки и деформации сооружений на просадочных грунтах наблюдались в Сталинском, Кемеровском, Беловском и других районах Кузбасса. Кое-где они наблюдаются и сейчас, где строительство производится без учета просадочности и без применения соответствующих мер. В последние годы вследствие просадочности лёссовидных суглинков деформировался ряд крупных сооружений новых шахт, рабочих поселков и городов.

Деформации сооружений, выстроенных на лёссовидных грунтах в других промышленных районах СССР, вызвали развитие широких исследований свойств этих пород. В южных районах европейской части СССР исследования были начаты еще в 1928—1929 годах. К 1940 году накопился большой материал, частично обобщенный в трудах двух Всесоюзных совещаний по вопросам строительства на просадочных лёссовидных грунтах (Сборник, 1939).

В послевоенный период, в связи с огромным размахом строительства в стране, исследованию свойств и просадочности лёссовидных отложений уделено еще больше внимания. Опубликован ряд новых работ, среди которых особенно выделяются монографии Ю. М. Абелева (1948) и Н. Я. Денисова (1946, 1953), наиболее полно освещающие физико-механические свойства и просадочность лёссовидных грунтов. Метод определения просадочности толщи макропористых грунтов, предложенный Ю. М. Абелевым в отмеченной монографии, введен в действующие сей-

час нормы (Строительные нормы, 1954). Коэффициент просадочности рекомендуется определять в специальном приборе при замачивании грунта под нагрузкой в  $3 \text{ кг/см}^2$  (Абелев, 1948; Инструкция, 1950; Строительные нормы, 1954).

В настоящей работе, наряду с результатами лабораторных исследований грунтов, освещается несколько отличный от принятого стандартного метода способ определения величины реальной просадки (дополнительной осадки) сооружений, разработанный автором в 1951 году применительно к лёссовидным грунтам Кузбасса и к реальным фундаментам сооружений (Нифантов, 1951).

### Некоторые результаты лабораторных исследований просадочности покровных суглинков Кузбасса

Учитывая запросы строительства и широкое распространение лёссовидных суглинков в Кузбассе, была поставлена задача провести исследование их просадочности. Ниже освещаются некоторые результаты этих исследований.

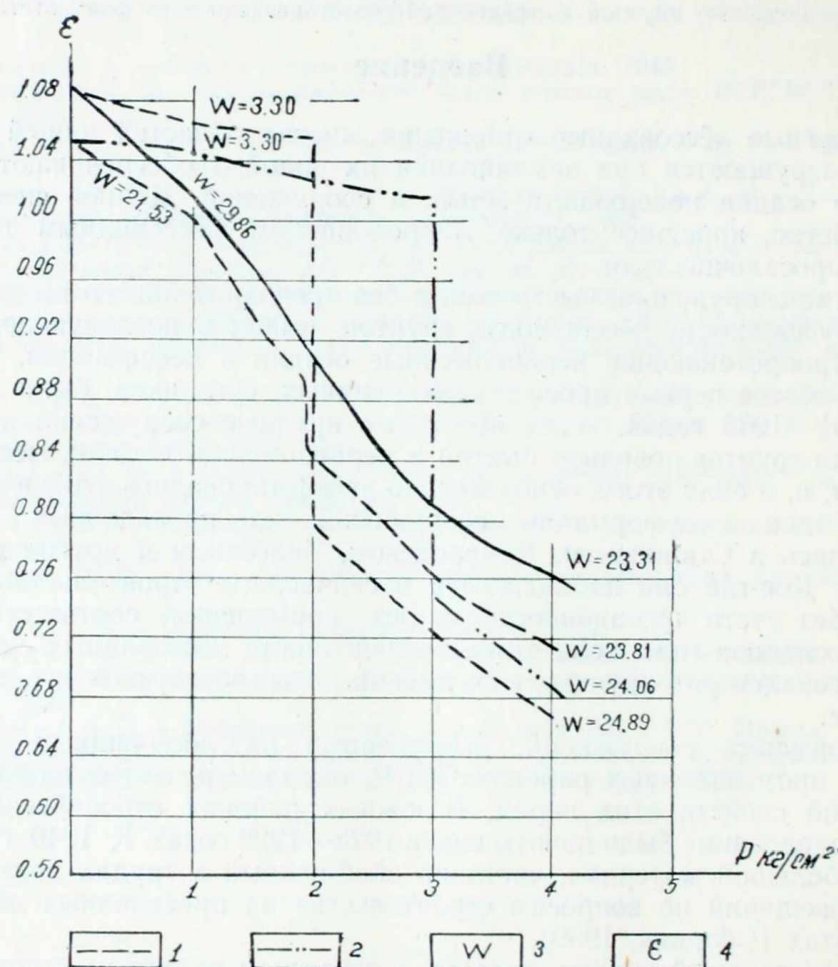


Рис. 1. График сжимаемости и просадки макropористого лёссовидного суглинка № 462 в компрессионном приборе. 1—замачивание и просадка при нагрузке  $2 \text{ кг/см}^2$ ; 2—замачивание и просадка при нагрузке  $3 \text{ кг/см}^2$ ; 3—влажность грунта в процентах к весу; 4—коэффициент пористости.

Исследования производились по следующей схеме. Из монолита лёссовидного суглинка размерами  $25 \times 25 \times 25 \text{ см}$  вырезались кубики



объемом в 3—4 раза больше внутреннего объема рабочего кольца обычного компрессионного прибора, имеющего высоту 15 мм и площадь 40 см<sup>2</sup>. Кубики покрывались несколькими слоями марли и помещались в сухой песок. В песке пробы выдерживались при комнатной температуре несколько суток, затем загружались в кольца компрессионных приборов. Каждое кольцо с грунтом, после взвешивания и установки в приборе, покрывалось толстым слоем влажной ваты с целью сохранения достигнутой влажности грунта в песке. В дальнейшем на грунт прикладывались нагрузки ступенями по 0,5 кг/см<sup>2</sup> и доводились в первом приборе до одного кг/см<sup>2</sup>, во втором — до 2 кг/см<sup>2</sup>, в третьем — до 3 кг/см<sup>2</sup> и т. д. При данных нагрузках (после стабилизации осадки) грунты замачивались водой снизу, чтобы обеспечить наилучшее вытеснение защемленного воздуха из пор грунта. После прекращения просадки на грунт прикладывались еще 2—3 ступени нагрузки и опыт заканчивался.

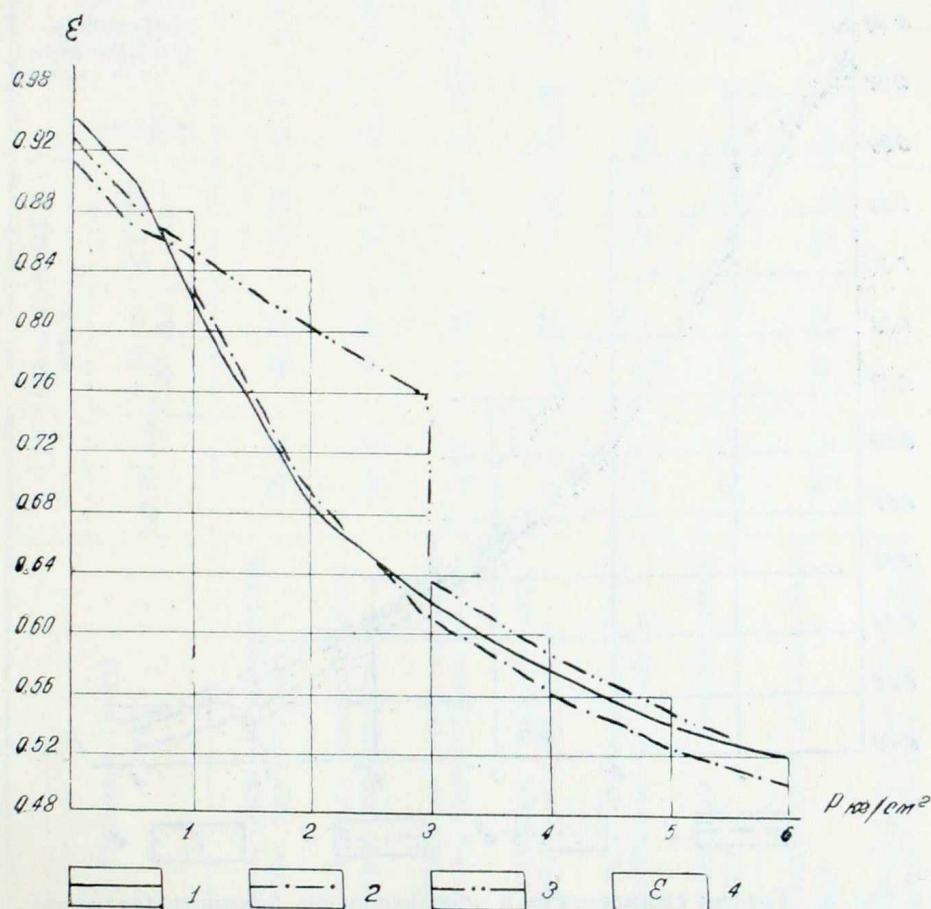


Рис. 22. Графики сжимаемости и просадки влажного (степень влажности 0,46—0,66) макropористого лёссовидного суглинка № 713. 1—замачивание грунта до приложения нагрузки; 2 и 3—замачивание при нагрузках 1 и 3 кг/см<sup>2</sup>; 4—коэффициент пористости грунта.

Проведенные по указанной схеме испытания позволили определить коэффициенты макropористости и просадочности (i) одного и того же грунта при различных нагрузках. Для ряда монолитов опыты повторялись при других первоначальных влажностях суглинка. В результате получены интересные данные, позволяющие установить зависимость просадочности от нагрузки и начальной влажности суглинков.

Максимальную просадку показали макропористые слабовлажные (с влажностью 3—8%) лёссовидные суглинки, имеющие высокую общую пористость (47—50%). Например, суглинок 462 (рис. 1), замоченный при влажности 3,3% и нагрузке в  $2 \text{ кг/см}^2$ , показал коэффициент просадочности 0,126, а при той же влажности и нагрузке в  $3 \text{ кг/см}^2$  ещё выше — 0,134. Высокие коэффициенты просадочности оказались у всех других слабовлажных макропористых суглинков (см. таблицу 1). Но эти же макропористые суглинки, имеющие влажности 15—22% (степень влажности 0,46—0,66), оказались менее просадочными, особенно в тех случаях, когда были приложены небольшие вертикальные нагрузки (рис. 1, 2). Еще меньшую просадочность показал макропористый суглинок 679, имевший первоначальную влажность 24,3—25% (рис. 3). Наконец, все суглинки совершенно не показали просадки при полном насыщении водой до опыта. В данном случае были получены обычные компрессионные кривые

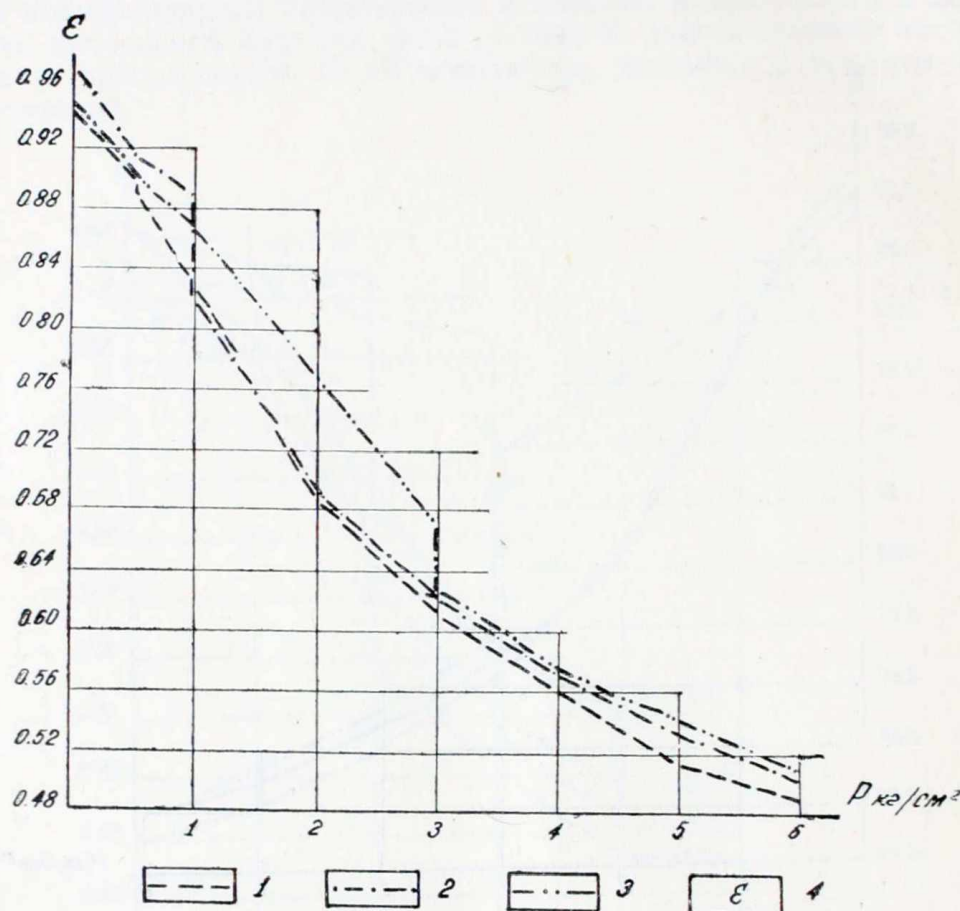


Рис. 3. График сжимаемости и просадки очень влажного (влажность 23—25%, степень влажности 0,67—0,71) макропористого лёссовидного суглинка № 679. 1—замачивание грунта при нагрузке  $0,5 \text{ кг/см}^2$ ; 2 и 3—замачивание и просадка грунта при нагрузках 1 и  $3 \text{ кг/см}^2$ ; 4—коэффициент пористости грунта.

с высокими коэффициентами уплотнения, как это видно на тех же графиках (рис. 1, 2, кривые сплошными линиями). Аналогичные результаты получены для многих других макропористых лёссовидных суглинков Кузбасса, взятых на террасах рек и водоразделах, и во всех опытах наиболее просадочными оказались слабовлажные макропористые лёссовидные суглинки с естественной влажностью меньше 10—12%. С увеличением влажности просадочность обычно уменьшается, и при степени



Таблица 1

Данные о просадочности некоторых покровных лёссовидных суглинков V террасы реки Томи

№ об- раз- цов	Глубина взятия в м	Название грунта	Гранулометрический состав			Пористость в %	Коэффициент макропорис- тости при $p = 3 \text{ кг/см}^2$	Влажность до замачивания в % к весу	Степень влаж- ности	Коэффициент относительной просадочности	Категория просадочности
			$>0,05 \text{ мм}$	0,05 до 0,005 мм	$<0,005 \text{ мм}$						
915	Шурф № 1, глуб. 2,5—2,7 м	Лёссовидный макропористый суглинок, карбонатный	25,36	55,81	18,83	47,4	0,13	15,50	0,46	0,078	Просадочный
916	Шурф № 2, глуб. 2,5—2,7 м	Лёссовидный макропористый суглинок, карбонатный	37,20	44,20	18,70	46,1	0,106	14,56	0,45	0,060	Просадочный
675	Шурф № 1-а, глуб. 2,3—2,5 м	Лёссовидный макропористый суглинок, слабокарбонатный	54,84	27,82	17,34	45,96	0,124	8,45	0,22	0,070	Просадочный
726	Шурф № 3-д, глуб. 2,2 м	Лёссовидный макропористый суглинок, бескарбонатный	47,82	37,83	14,35	46,29	0,090	14,12	0,43	0,050	Просадочный
921	Шурф № 7, глуб. 2,5—2,7 м	Лёссовидный макропористый слабокарбонатный суглинок	20,31	50,50	29,19	46,64	0,065	18,95	0,60	0,038	Просадочный
722	Шурф № 5-д, глуб. 2,5—2,8 м	Лёссовидный макропористый суглинок	26,73	53,54	19,73	46,47	0,008	23,33	0,73	0,004	Непросадочный
767	Шурф № 4-г, глуб. 3,20 м	Суглинок макропористый, лёссо- видный	30,12	47,04	22,84	44,44	0,006	26,00	0,90	0,004	Непросадочный
721	Шурф № 1-д, глуб. 2,2 м	Лёссовидный пылеватый макро- пористый суглинок, бескарбо- натный	—	—	—	44,81	0,004	22,18	0,74	0,003	Непросадочный



влажности выше 0,7—0,8 те же макропористые суглинки переходят в категорию непросадочных, но хорошо сжимаемых грунтов. Исследования, кроме того, показали изменение степени просадочности одного и того же грунта от вертикальной нагрузки (см. рис. 1 и 2). С увеличением нагрузок просадочность суглинков возрастает, что, по-видимому, объясняется более интенсивным нарушением структуры гидродинамическим давлением воды, возникающим внутри пор в момент быстротекущей просадки грунта под дополнительной нагрузкой. Отсюда следует, что определение просадочности нужно производить при таких оптимальных влажностях и вертикальных нагрузках, которые будут действовать на грунт во время строительства и эксплуатации сооружения, а не при постоянной нагрузке в  $3 \text{ кг/см}^2$  и искусственной влажности, как это рекомендуют некоторые инструкции (1950). Лишь в этом случае размер просадки проектируемых сооружений будет определен достаточно точно.

### Метод определения дополнительной осадки (просадки) сооружений, проектируемых на просадочных под нагрузкой суглинках

Установленные выше зависимости изменения просадки от первоначальной влажности и нагрузки позволяют считать, что просадочность в лёссовидных суглинках Кузбасса возникает только в пределах сжимаемой зоны грунта, где создаются дополнительные напряжения. За пределами напряженной зоны грунты, подобные лёссовидным суглинкам Кузбасса, сохраняют свою первичную структуру, если в период промачивания здесь не создается больших дополнительных гидродинамических давлений, нарушающих сцепление между частицами грунта.

Учитывая отмеченное, можно рекомендовать более точный способ определения вероятной просадки (дополнительной осадки) сооружений, проектируемых на просадочных под нагрузкой суглинках. На строительной площадке, вблизи контуров проектируемых сооружений, потребуется заложить шурфы и в пределах глубин, соответствующих глубине сжимаемой зоны, отобрать монолиты через 1,5—2 м. В случае разнородных по составу макропористости и влажности грунтов монолиты необходимо взять из каждого слоя. По монолитам определить коэффициенты просадочности ( $i$ ) грунта в обычных компрессионных приборах при таких нагрузках, какие будут переданы грунту от проектируемого сооружения на глубине взятия монолита (рис. 4).

Из рисунка видно, что просадочность по первому монолиту необходимо определить при нагрузке  $2 \text{ кг/см}^2$ , и полученный коэффициент просадки ( $i_1$ ) распространить на интервал в 1,25 м, ограниченный подошвой фундамента и линией с напряжением в  $1,5 \text{ кг/см}^2$ . Второй монолит, взятый на глубине 4,5 м, исследуется на просадочность при нагрузке  $1,0 \text{ кг/см}^2$ . Полученный в данном случае коэффициент просадки ( $i_2$ ) можно распространить на интервал в 2,25 м, ограниченный линиями напряжений  $1,5—0,70 \text{ кг/см}^2$ . Наконец, коэффициент просадочности суглинка по третьему монолиту ( $i_3$ ), отобранному на глубине 6 м, определяется при нагрузке в  $0,5 \text{ кг/см}^2$  и относится к слою в 4,0 м, ограниченному линиями напряжений  $0,7—0,32 \text{ кг/см}^2$ . Приведенная детальность выделения интервалов, в случае однородных суглинков, обеспечивает необходимую для практики точность расчетов. Все нижележащие слои суглинка, находящиеся за пределами сжимаемой зоны и не воспринимающие сколько-нибудь значительных дополнительных напряжений, не будут просадочными. В этом случае общая просадка сооружения при заданных размерах фундамента и нагрузке в  $2 \text{ кг/см}^2$  окажется равной



сумме просадок трех перечисленных интервалов и вычислится по следующей формуле:

$$S = i_1 h_1 + i_2 h_2 + i_3 h_3$$

где  $S$  — общая просадка грунта в пределах сжимаемой зоны в см;  
 $i_1$ ,  $i_2$  и  $i_3$  — коэффициенты просадочности грунта первого, второго и третьего интервалов;

$h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$  — мощность интервалов в см.

Данная формула совпадает с одной из формул Ю. М. Абелева, рекомендованной им для вычисления частичной просадки, возникающей при инфильтрации в грунт сжимаемой толщи «относительно небольшого количества воды» [1948]. Мы же предлагаем ее для определения полной просадки промышленных и гражданских зданий, проектируемых на просадочных под нагрузкой суглинках, получивших максимальное промачивание.

Величина просадки зданий, вычисленная по данной формуле, рекомендуется нами для назначения вида и объема мероприятий, проектируемых для сохранения устойчивости зданий, возводимых на просадочных под нагрузкой грунтах. Ю. М. Абелев для этой цели, как известно, рекомендует вычислять величину просадки всей толщи макропористого грунта при среднем коэффициенте просадочности, определенном под давлением на грунт в  $3 \text{ кг/см}^2$ , а не при действительной нагрузке, какая будет передана грунту от сооружения. Ясно, что реальная величина просадки зданий, вычисленная нашим способом, в случае мощных просадочных под нагрузкой суглинков, всегда будет меньше просадочности толщи, определяемой методом Ю. М. Абелева. Таким образом, предлагаемый нами способ обеспечит экономию средств, расходуемых на мероприятия против просадки сооружений. Разница этих результатов достаточно наглядно подчеркивается при разборе конкретного примера.

На просадочном однородном суглинке мощностью 15 м запроектировано строительство зданий с фундаментами шириной в 2,0 м, заложенными на глубину 2,10 м и передающими дополнительную нагрузку на грунт в  $2 \text{ кг/см}^2$ . Для данных фундаментов и грунта мощность сжимаемой зоны согласно эпюры, приведенной на рисунке 4, равна 7,5 м. Коэффициент просадочности суглинка ( $i_1$ ) по первому монолиту, отобран-

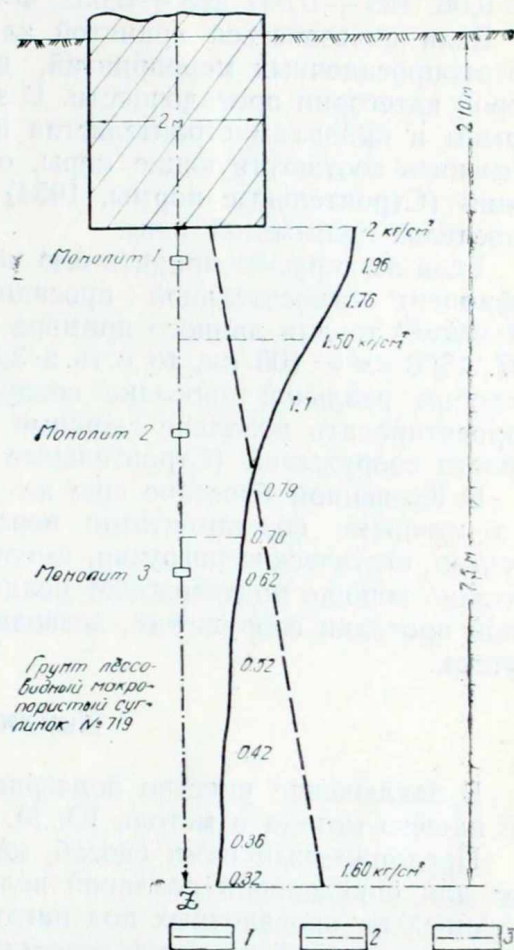


Рис. 4. Кривые распределения дополнительных и бытовых напряжений в грунте по оси  $z$  под подошвой ленточного фундамента.

1 — кривая дополнительных напряжений; 2 — кривая бытовых напряжений; 3 — глубина распространения сжимаемой зоны грунта.



ному на глубине 2,5 м, при замачивании грунта под нагрузкой 2 кг/см<sup>2</sup>, оказался 0,06, по второму, взятому на глубине 4,5 м и исследованному на просадочность при  $P = 1,0 \text{ кг/см}^2$ , оказался 0,037 и, наконец, по третьему монолиту с глубины 6,0 м, исследованному на просадочность под нагрузкой в 0,5 кг/см<sup>2</sup>, оказался 0,032.

Коэффициент просадочности первого монолита, как было отмечено выше, распространяем на слой мощностью в 1,25 м, второго — на следующий слой в 2,25 м, и третьего — на последний слой сжимаемой зоны, мощностью в 4,0 м (см. рис. 4). Отсюда общая просадка сооружения, вычисленная по приведенной выше формуле, оказалась равной:  $S = 0,06 \cdot 125 + 0,037 \cdot 225 + 0,032 \cdot 400 = 28,63 \text{ см}$ .

Если пользоваться принятой классификацией, нормирующей объем противопросадочных мероприятий, данную толщу следует отнести ко второй категории просадочности. В этом случае согласно существующим нормам и правилам строительства на лёссовидных грунтах потребуются применить соответствующие меры, обеспечивающие устойчивость сооружений (Строительные нормы, 1954), или провести уплотнение грунта в пределах сжимаемой зоны.

Если же в расчет принять всю мощность просадочного суглинка и коэффициент относительной просадочности определить при нагрузке в 3 кг/см<sup>2</sup>, то для данного примера общая величина просадки окажется 0,07 · 1500 см = 105 см, то есть в 3,5 раза больше вычисленной нашим способом реальной просадки сооружения. Соответственно потребуются спроектировать довольно сложные мероприятия для сохранения устойчивости сооружений (Строительные нормы, 1954).

В Кузнецком бассейне еще не отмечено случаев, чтобы здания с ленточными фундаментами, передающими на грунт небольшие, до 2 кг/см, статические нагрузки, имели просадки выше 25—30 см. Это достаточно хорошо подтверждает реальность нашего способа расчета вероятной просадки сооружений, возводимых на просадочных под нагрузкой грунтах.

### Заключение

В заключение уместно подчеркнуть вероятные границы применимости нашего метода и метода Ю. М. Абелева.

Предложенный нами способ, как это подчеркивалось выше, применим для определения реальной величины просадки сооружений, проектируемых на просадочных под нагрузкой грунтах, когда просадка зависит от переданной на грунт дополнительной нагрузки и распространяется в пределах сжимаемой зоны при любой продолжительности замачивания грунта водой. К такого рода грунтам относятся все исследованные нами покровные просадочные суглинки ряда районов Кузбасса. Метод Ю. М. Абелева, рекомендованный нормами, в применении к данным грунтам даст завышенные величины просадки. По-видимому, метод Ю. М. Абелева следует применять в том случае, когда сооружения проектируются на грунтах, просадочных без дополнительной нагрузки, распространенных в южных районах нашей страны.

### ЛИТЕРАТУРА

- Абелев Ю. М. — Практика строительства на лёссовидных грунтах. ОНТИ, 1934.  
Абелев Ю. М. — Основы проектирования и строительства на макропористых грунтах. Стройвоенмориздат, 1948.  
Денисов Н. Я. — О природе просадочных явлений в лёссовидных суглинках. Изд. «Советская наука», 1946.  
Денисов Н. Я. — Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. Москва, 1953.



Инструкция по определению просадочных свойств макропористых (лессовидных) грунтов. Стройиздат, 1950.

Строительные нормы и правила, часть II. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, Москва, 1954.

Нифантов Ф. П. — Геология рыхлых отложений и физические свойства покровных лессовидных пород Кемеровского района Кузбасса. Рукопись в библиотеке Томского политехнического института, 1951.

Сборник «Строительство на лессовидных грунтах». Укрито строителей, 1939.



# ИСПРАВЛЕНИЯ И ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
4	25 сверху	Leptimnadia	Leptolimnadia
6	8 снизу	„сахаровидные“	„сахаровидные“,
„	6 „	минерала	минералов
„	2 „	серые	серые,
7	13 „	Коллоидальные	Аутигенные
12	28 „	„чертинской свиты“	„чергинской свиты“
17	10 „	камбрийскими	кембрийскими
18	27 сверху	мерглей	мергелей
„	29 „	<i>Hlaenidae</i>	<i>llaenidae</i>
21	19 „	кембрию	докембрию
23	16 снизу	1957	1958
26	26 „	поддерживается	подтверждается
28	4 „	Slatkovska	slatkovska
29	5 „	1957	1958
33	14 „	Bulalasis	Bulaiaspis
39	20 „	выше описанных	вышеописанных
41	23 сверху	бласто-псаммитовой	бластопсаммитовой
48	14 снизу	дайки Рудное	дайки. Рудное
56	20 „	минералогии	минерагении
66	Рис. 10	серпцита	серицита
67	6 снизу	теллурида, золота	теллурида золота
76	27 „	раздроблены	раздроблены
77	23 „	эпидото-кварцево-полевошпа- товые	эпидото-кварцево-полево- шпатовые
83	14 сверху	плагигранитной	плагиогранитной
„	7 снизу	Елисеева Н. А.	Елисеев Н. А.
88	2 „	неравномерно зернистая	неравномернозернистая
110	25 сверху	природы	породы
112	7 снизу	А. К. Яхонтова	Л. К. Яхонтова
116	8 „	Ro	RO
122	26 „	$N-(\bar{3}04); r-(\bar{1}0\bar{1});$	$N-(\bar{3}04); r-(\bar{1}0\bar{1});$
„	24 „	$m-110)$	$m-(110)$
123	1 сверху	(304)	( $\bar{3}04$ )
„	15 „	(302)	( $\bar{3}02$ )
129	8 „	Болдырев А. К.	Коллектив авторов, под ред. А. К. Болдырева
133	Таблица 1	Содержание	Содержание $Ca Mg Si_2 O_6$
160	26 снизу	поверхностных водоемов	поверхностные водоемы
170	12 снизу	( $i_2$ )	( $i_2$ )
201	1 сверху	Этой	этой
226	9 „	1 пог. м	1 пог. см

В статье С. А. Строителява „Исследование кристаллизации эпсомита и мирабилита“ по техническим причинам фигурные скобки заменены на квадратные, например: [100] вместо {100} и т. д.